

应用理论

12.00R20载重轮胎用圆形钢丝圈的研究

张正伟¹, 张绍鹏², 刘晓芳¹, 李洪汎¹, 李明¹, 魏胜¹, 刘凤珠¹

(1. 山东玲珑轮胎股份有限公司, 山东 招远 265400; 2. 招远市89000民生服务中心, 山东 招远 265400)

摘要:研究圆形钢丝圈 $[1 \times 5.5 + (10 + 17 + 23) \times 2.2]$ 在12.00R20载重轮胎中的应用, 并与六角形钢丝圈(7-8-9-10-11-12-11-10-9-8-7)进行对比。结果表明:六角形钢丝圈主要靠中心钢丝承受拉应力和压应力, 圆形钢丝圈每根钢丝均匀承受拉应力和压应力, 六角形钢丝圈的Mises拉应力较大, Mises压应力较小, 圆形钢丝圈受压易产生钢丝散股问题; 圆形钢丝圈对称承受弯曲应力, 六角形钢丝圈的Mises弯曲应力较大; 顺时针旋转时圆形钢丝圈的钢丝有拉直的趋势, 逆时针旋转时圆形钢丝圈的钢丝有收紧的趋势, 六角形钢丝圈的Mises旋转应力大于圆形钢丝圈; 圆形钢丝圈轮胎的耐久性能更好, 且圆形钢丝圈有助于减小轮胎质量、降低滚动阻力。

关键词:圆形钢丝圈; 六角形钢丝圈; 载重轮胎; 应力; 滚动阻力; 耐久性能

中图分类号: TQ336.1; TQ330.38⁺9

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2022)07-0499-07

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2022.07.0499



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

我国轮胎工业发展迅猛, 当前子午线轮胎已成为载重轮胎的主流品种, 轮胎的早期三化(子午化、扁平化、无内胎化)已升级到以绿色生产为标志的新三化(安全化、节能化、智能化), 轮胎越来越明显地趋于安全、环保、舒适的方向发展^[1-3]。

在国际市场中, 各国为了规避进口轮胎冲击本地市场, 纷纷设置了轮胎贸易壁垒和技术壁垒。在此形势下, 安全性能和节能性能优良的高附加值轮胎日益受到重视。

目前胎圈钢丝从较细规格、单一品种向粗规格、多品种发展, 冷拉胎圈钢丝逐步被淘汰, 回火胎圈钢丝逐步推广, 普通强度回火胎圈钢丝逐渐被高强度甚至超高强度回火胎圈钢丝替代, 这对钢丝的粘合力和覆胶量等性能指标提出了更高的要求^[4-17]。圆形钢丝圈是一种先进结构的钢丝圈产品, 国际轮胎巨头广泛将其用于轮胎制造中。为进一步提高轮胎用钢丝圈的技术水平和产品附加值, 我公司对12.00R20载重轮胎用圆形钢丝圈

进行研究。

1 圆形钢丝圈与六角形钢丝圈的结构对比

传统的矩形钢丝圈和六角形钢丝圈是使用钢丝圈缠绕设备将钢丝覆胶后通过排缠或单根缠绕制成的, 六角形钢丝圈的断面结构如图1所示。

圆形钢丝圈(见图2)是一种螺旋复合钢丝圈, 采用缆型结构, 中心为一根钢丝芯线, 外层由钢丝

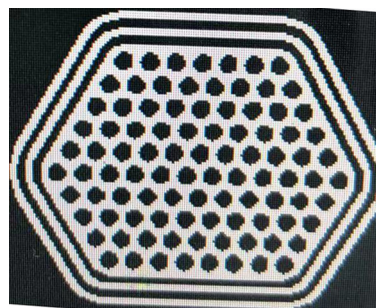


图1 六角形钢丝圈的断面结构

Fig. 1 Section structure of hexagonal wire ring

作者简介: 张正伟(1980—), 男, 山东烟台人, 山东玲珑轮胎股份有限公司高级工程师, 学士, 主要从事轮胎研究和科技创新管理工作。

E-mail: zhengwei_zhang@linglong.cn

引用本文: 张正伟, 张绍鹏, 刘晓芳, 等. 12.00R20载重轮胎用圆形钢丝圈的研究[J]. 橡胶工业, 2022, 69(7): 499-505.

Citation: ZHANG Zhengwei, ZHANG Shaopeng, LIU Xiaofang, et al. Study on of circular wire ring for 12.00R20 truck and bus tire[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(7): 499-505.

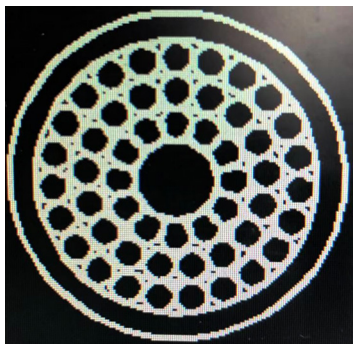


图2 圆形钢丝圈的断面结构

Fig. 2 Section structure of circular wire ring

螺旋形缠绕组成, 钢丝圈的断面呈圆形, 内径为530 mm, 外层钢丝可以有1层, 也可以有多层, 各层钢丝螺旋缠绕可以同向, 也可以反向。用于不同规格轮胎的圆形钢丝圈强度及缠绕方式可根据市场轮胎需求确定。

2 圆形钢丝圈与六角形钢丝圈的有限元分析

采用Abaqus软件对六角形钢丝圈(7-8-9-10-11-12-11-10-9-8-7) 轮胎和圆形钢丝圈 $[1 \times 5.5 + (10 + 17 + 23) \times 2.2]$ 轮胎进行有限元对比分析。

2.1 模型介绍

充气轮胎(充气压力为60 kPa)模型的六角形钢丝圈和圆形钢丝圈的受力状态分别见图3和4。

由图3和4可知, 六角形钢丝圈内侧受力大于外侧受力, 钢丝圈受力不均匀, 导致部分钢丝未完全发挥自身的能力, 且易产生内端点切割胎体的风险, 而圆形钢丝圈整体受力更均匀。

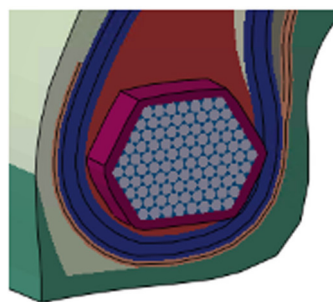
轮胎整体模型庞大, 接触对复杂, 导致受力分析的计算效率低, 收敛性差, 因此提取其局部模型, 并对局部模型进行拉-压-弯-扭受力对比分析。从完整的钢丝圈模型上截取一段18 mm长的局部模型(相当于整个钢丝圈模型的1%), 该局部模型近似为直线形模型, 如图5所示。

2.2 周向应力分析

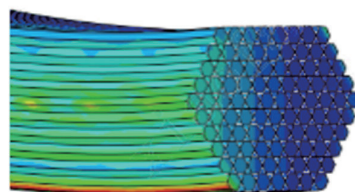
2.2.1 周向拉应力

六角形钢丝圈和圆形钢丝圈的周向拉应力分析结果见图6。

由图6可知, 六角形钢丝圈主要靠中心钢丝承受拉应力, 圆形钢丝圈每根钢丝均匀承受拉应



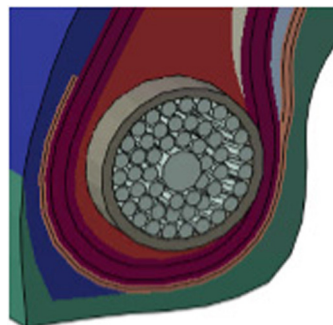
(a) 胎圈



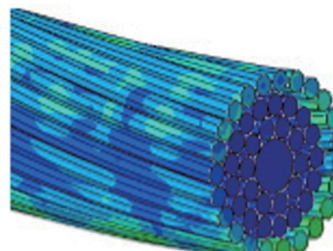
(b) 钢丝圈

图3 充气轮胎模型的六角形钢丝圈的受力状态

Fig. 3 Stress state of hexagonal wire ring of pneumatic tire model



(a) 胎圈



(b) 钢丝圈

图4 充气轮胎模型的圆形钢丝圈的受力状态

Fig. 4 Stress state of circular wire ring of pneumatic tire model

力, 六角形钢丝圈的Mises拉应力大于圆形钢丝圈。

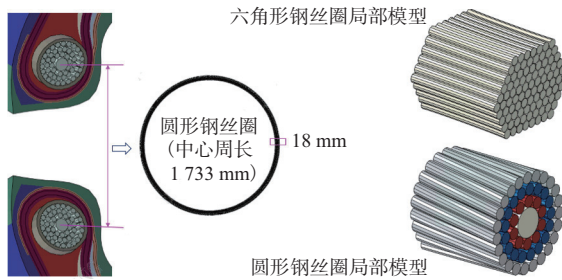


图5 六角形钢丝圈和圆形钢丝圈的局部模型

Fig. 5 Local models of hexagonal wire ring and circular wire ring

2.2.2 周向压应力

六角形钢丝圈和圆形钢丝圈的周向压应力分

析结果见图7。

由图7可知,六角形钢丝圈主要靠中心钢丝承受压应力,圆形钢丝圈每根钢丝均匀承受压应力,六角形钢丝圈的Mises压应力小于圆形钢丝圈,圆形钢丝圈不适合受压,受压易产生钢丝散股问题。

2.3 弯曲应力分析

2.3.1 绕x轴弯曲3°

六角形钢丝圈和圆形钢丝圈绕x轴弯曲3°的应力分析结果见图8。

由图8可知,圆形钢丝圈对称承受弯曲应力,

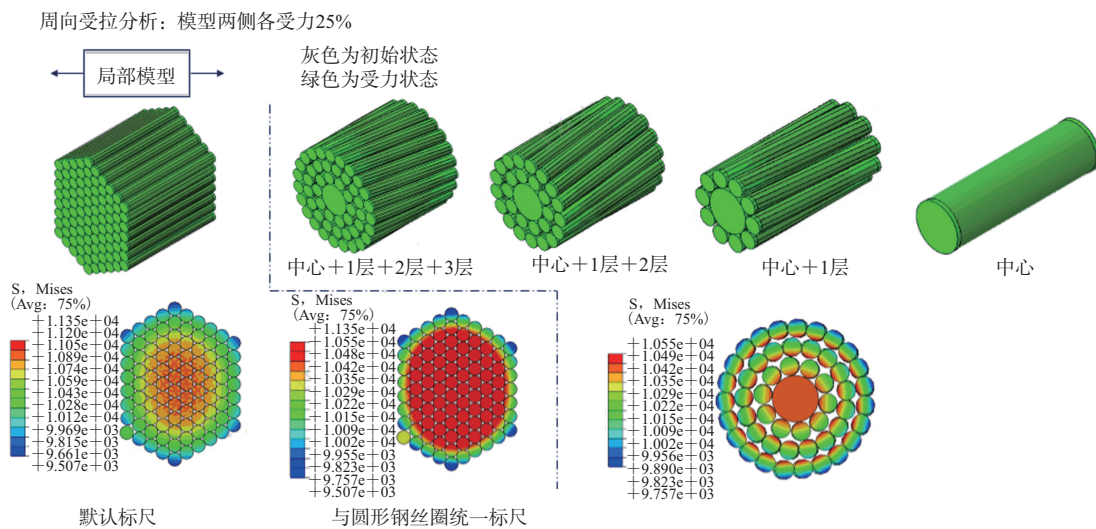


图6 六角形钢丝圈和圆形钢丝圈的周向拉应力分析结果

Fig. 6 Circumferential tensile stress analysis results of of hexagonal wire ring and circular wire ring

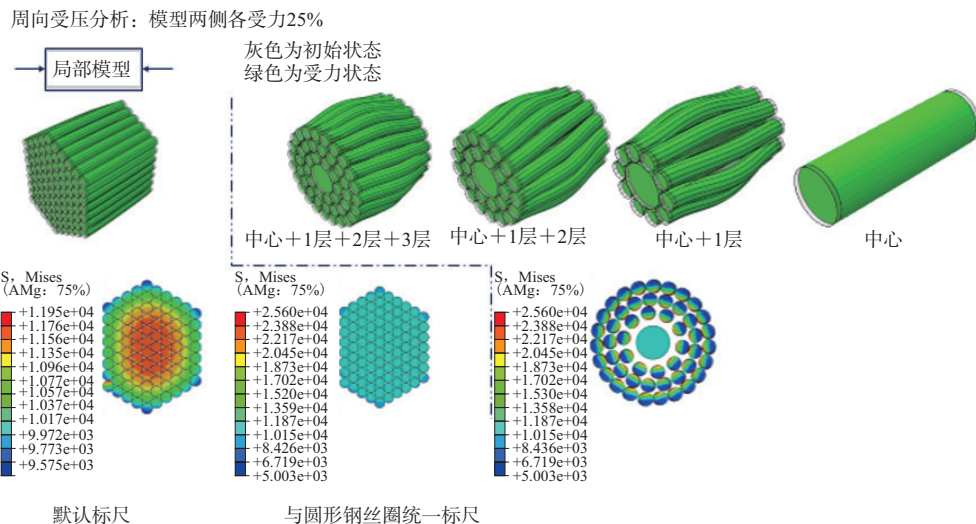


图7 六角形钢丝圈和圆形钢丝圈的周向压应力分析结果

Fig. 7 Circumferential compressive stress analysis results of hexagonal wire ring and circular wire ring

六角形钢丝圈的绕x轴Mises弯曲应力大于圆形钢丝圈。

2.3.2 绕y轴弯曲 3°

六角形钢丝圈和圆形钢丝圈绕y轴弯曲 3° 的应力分析结果见图9。

由图9可知,圆形钢丝圈对称承受弯曲应力,六角形钢丝圈的绕y轴Mises弯曲应力大于圆形钢丝圈。

2.4 旋转应力分析

2.4.1 顺时针旋转 3°

六角形钢丝圈和圆形钢丝圈顺时针旋转 3° 的应力分析结果见图10。

由图10可知,顺时针旋转时圆形钢丝圈的钢丝有拉直的趋势,六角形钢丝圈的顺时针旋转Mises应力大于圆形钢丝圈。

2.4.2 逆时针旋转 3°

六角形钢丝圈和圆形钢丝圈逆时针旋转 3° 的应力分析结果如图11所示。

由图11可知,逆时针旋转时圆形钢丝圈的钢丝有收紧的趋势,六角形钢丝圈的逆时针旋转Mises应力大于圆形钢丝圈。

3 圆形钢丝圈在轮胎中的应用

轮胎制造过程中所用圆形钢丝圈如图12所

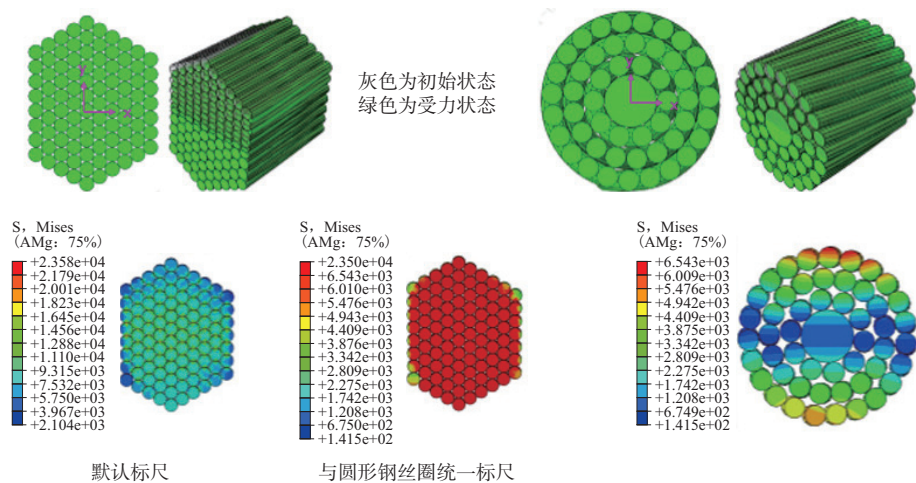


图8 六角形钢丝圈和圆形钢丝圈绕x轴弯曲 3° 的应力分析结果

Fig. 8 Stress analysis results of hexagonal wire ring and circular wire ring bending around x-axis by 3°

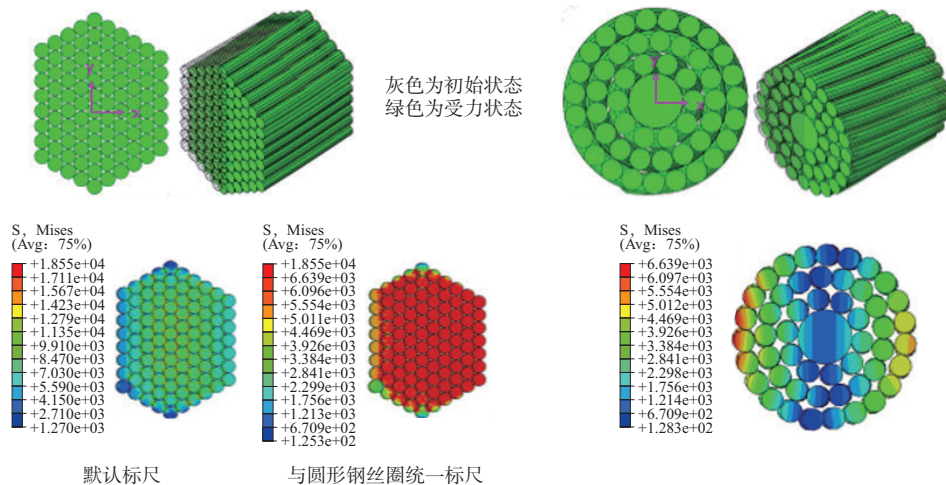
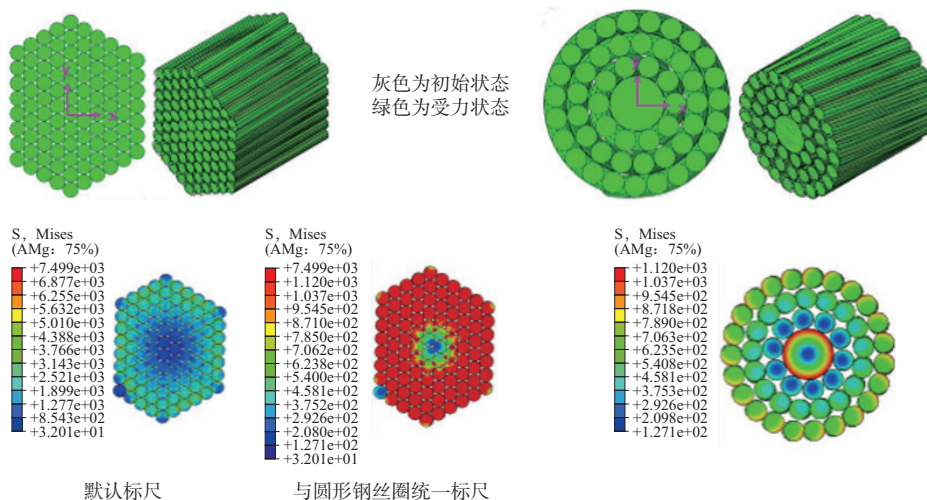
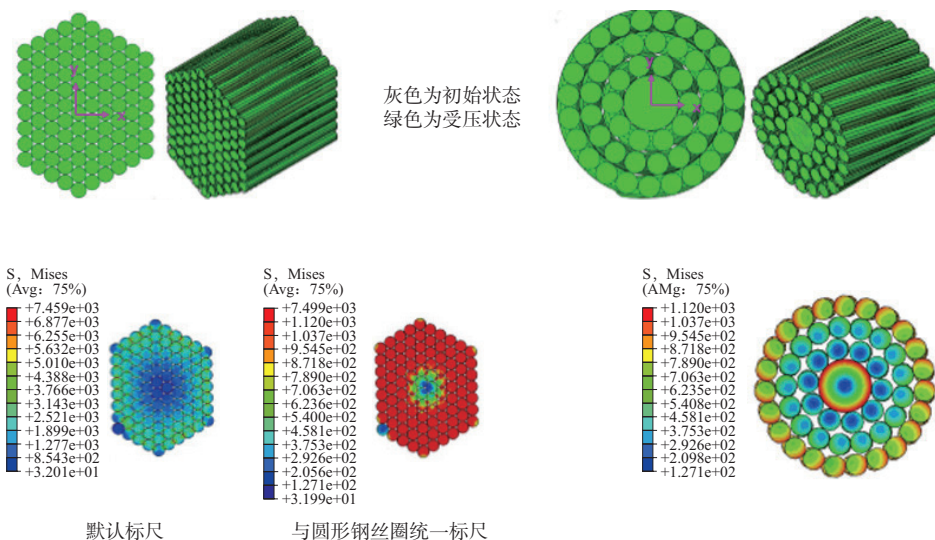


图9 六角形钢丝圈和圆形钢丝圈绕y轴弯曲 3° 的应力分析结果

Fig. 9 Stress analysis results of hexagonal wire ring and circular wire ring bending around y-axis by 3°

图10 六角形钢丝圈和圆形钢丝圈顺时针旋转 3° 的应力分析结果Fig. 10 Stress analysis results of hexagonal wire ring and circular wire ring rotating clockwise by 3° 图11 六角形钢丝圈和圆形钢丝圈逆时针旋转 3° 的应力分析结果Fig. 11 Stress analysis results of hexagonal wire ring and circular wire ring rotating counterclockwise by 3°

示,圆形钢丝圈的胎圈如图13所示。

圆形钢丝圈可直接用于轮胎成型,可提高轮胎的成型工艺性能和产品性能。以12. 00R20载重轮胎为例,采用圆形钢丝圈替代六角形钢丝圈,胎圈部位的三角胶做相应改变,将原来的六角形结构改为圆形结构,并且将原来的锦纶包布缠绕改为包胶模式。

首先,在轮胎硫化过程中,由于传统方式缠绕的六角形钢丝圈钢丝表面覆胶发生流动,使钢丝圈无法完全保持原设计断面形状,针对于此,改用圆形钢丝圈,其钢丝与钢丝之间没有可流动

的胶料,使其设计断面形状在轮胎硫化过程得以保持。

其次,轮胎使用过程中圆形钢丝圈的受力均匀,六角形钢丝圈的层与层之间受力不均匀,在交变负荷的作用下,易变形,应力可通过压缩胶由外层传递至内层,钢丝圈的层与层之间有压力降,易造成钢丝圈的多根钢丝断裂而致使胎圈破坏。同时,六角形钢丝圈的应力分布不均匀,两侧应力大于中部,且内侧比外侧应力大,因此其易变形,对于高充气压力或者大变形的载重轮胎来说,特别是全钢载重子午线轮胎,六角形钢丝圈会造成



图12 轮胎制造过程中所用圆形钢丝圈照片

Fig. 12 Photos of circular wire rings used in tire manufacturing

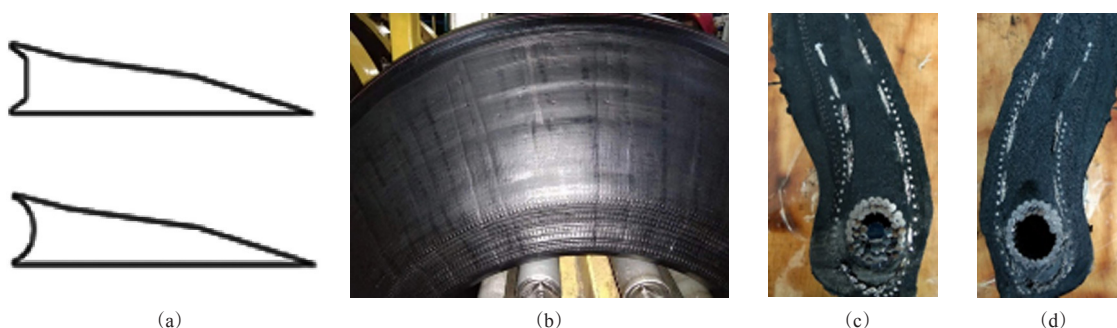


图13 圆形钢丝圈的胎圈示意

Fig. 13 Bead diagram of circular wire ring

胎体帘线损伤,受到损伤的胎体帘线强度急剧下降。圆形钢丝圈的钢丝之间没有可挤压变形的胶料,因此在胎圈受力时每根钢丝同时进入受力状态,使得钢丝圈对轮辋的箍紧力相当稳定,可最大程度地减小胎圈部位的疲劳应力,保证胎圈与轮辋良好的密封性,使轮胎的使用寿命延长。

4 成品轮胎性能

对12.00R20载重轮胎进行耐久性能测试。结果表明,耐久性试验中六角形钢丝圈轮胎的累计行驶时间为50.33 h,圆形钢丝圈轮胎的累计行驶时间为59.82 h(耐久性能更好),两种钢丝圈轮胎均满足客户需求,试验数据理想,符合轮胎企业严苛的标准要求。

5 结语

载重子午线轮胎采用圆形钢丝圈 $[1 \times 5.5 + (10 + 17 + 23) \times 2.2]$ 替代六角形钢丝圈(7-8-9-10-11-12-11-10-9-8-7),其优异的结构使钢丝和钢丝圈的性能得到充分发挥,能以较小的横截面积达到同等的承载能力;圆形钢丝圈的质量比

拉伸强度相似的六角形钢丝圈减小16%,圆形钢丝圈有助于减小轮胎质量、降低滚动阻力,有利于节能降耗;圆形钢丝圈解决了汽车行驶过程中轮胎钢丝圈钢丝受力不均匀及钢丝圈对轮辋箍紧力不稳定的问题,提高了轮胎钢丝圈部位的耐疲劳性能。

参考文献:

- [1] 庄剑. 低断面无内胎全钢子午线轮胎275/70R22.5的研发[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2018.
- [2] 董佳, 张海柱, 邹益胜, 等. 高性能载重子午线轮胎设计与制备技术研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2019.
- [3] 臧孟炎, 王立臣, 周涛, 等. 子午线轮胎的动态特性仿真分析与评价[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2020, 48(8): 124-129.
ZANG M Y, WANG L C, ZHOU T, et al. Finite element simulation analysis and evaluation of radial tire's transient dynamic characteristics[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 48(8): 124-129.
- [4] 李西德, 黄振国, 郭建华, 等. 胎圈钢丝用SWRH77A线材的研制与开发[J]. 四川冶金, 2021, 43(1): 34-36, 49.
LI X D, HUANG Z G, GUO J H, et al. Development of SWRH77A wire rod for bead wire[J]. Sichuan Metallurgy, 2021, 43(1): 34-36, 49.
- [5] 袁相坤, 李麦麦, 高永彬, 等. 改善胎圈钢丝用盘条组织性能均匀性

- 实践[J]. 金属制品, 2021, 47(4): 27-30.
- YUAN X K, LI M M, GAO Y B, et al. Practice of improving uniformity of structure and property of wire rod for bead wire[J]. Steel Wire Products, 2021, 47(4): 27-30.
- [6] 谭苗, 任乔伟, 杨蛟, 等. $\Phi 1.3$ mm高强度胎圈钢丝在半钢子午线轮胎中的应用[J]. 橡胶科技, 2021, 19(8): 390-392.
- TAN M, REN Q W, YANG J, et al. Application of $\Phi 1.3$ mm high strength bead steel wire in steel-belted radial tire[J]. Rubber Science and Technology, 2021, 19(8): 390-392.
- [7] 赵延林. 全钢载重子午线轮胎六角形钢丝圈与圆形钢丝圈结构性能对比[J]. 轮胎工业, 2015, 35(2): 24-28.
- ZHAO Y L. Comparison of hexagonal bead and round bead for truck and bus radial tire[J]. Tire Industry, 2015, 35(2): 24-28.
- [8] 韩流, 雍占福. 液体聚丁二烯替代芳烃油在全钢载重子午线轮胎胎圈护胶中的应用研究[J]. 橡胶工业, 2021, 68(10): 751-755.
- HAN L, YONG Z F. Application of liquid rubber LPBD instead of aromatic oil in bead filler compound of truck and bus radial tire[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(10): 751-755.
- [9] 段付杨, 赵飞燕, 王宗运, 等. 295/80R22.5无内胎全钢载重子午线轮胎胎圈结构的优化[J]. 轮胎工业, 2021, 41(1): 13-15.
- DUAN F Y, ZHAO F Y, WANG Z Y, et al. Bead structure optimization of 295/80R22.5 tubeless truck and bus radial tire[J]. Tire Industry, 2021, 41(1): 13-15.
- [10] 商业帅, 邓涛. 胎圈钢丝表面形态对橡胶黏合性能的影响[J]. 橡塑技术与装备, 2021, 47(15): 42-45.
- SHANG Y S, DENG T. Influence of bead wire surface morphology on rubber adhesive performance[J]. China Rubber/Plastics Technology And Equipment, 2021, 47(15): 42-45.
- [11] 王超. C72DA胎圈钢丝质量提升[J]. 河北冶金, 2019(9): 45-50.
- WANG C. Quality improvement of C72DA bead wire[J]. Hebei Metallurgy, 2019(9): 45-50.
- [12] 窦勇, 王金武, 窦万明, 等. 一种胎圈钢丝生产用水洗装置[P]. 中国: CN 113714323A, 2021-11-30.
- [13] 窦勇, 王金武, 窦万明, 等. 一种胎圈钢丝化学镀液搅拌装置[P]. 中国: CN 113680243A, 2021-11-23.
- [14] 蒋丙炎, 李强, 邓军, 等. 缩小钢丝间隙的圆形钢丝圈设计方法及变直径圆形钢丝圈[P]. 中国: CN 113684706A, 2021-11-23.
- [15] 刘祥, 李呐, 姚利明, 等. 制作黄铜镀层钢丝、胎圈钢丝、胶管钢丝及钢帘线的方法[P]. 中国: CN 113668027A, 2021-11-19.
- [16] 齐向阳, 高冬磊. 胎圈钢丝用盘条除氧化铁皮工艺比较[J]. 金属制品, 2020, 46(2): 24-27.
- QI X Y, GAO D L. Comparison of scale removal process of wire rod for bead wire[J]. Steel Wire Products, 2020, 46(2): 24-27.
- [17] 宋清华, 王伯健, 刘世锋. 胎圈钢丝的生产现状[J]. 金属制品, 2006, 32(4): 12-13, 16.
- SONG Q H, WANG B J, LIU S F. Production present situation of bead wire[J]. Steel Wire Products, 2006, 32(4): 12-13, 16.

收稿日期: 2022-03-03

Study on Circular Wire Ring for 12.00R20 Truck and Bus Tire

ZHANG Zhengwei¹, ZHANG Shaopeng², LIU Xiaofang¹, LI Hongxun¹, LI Ming¹,
WEI Sheng¹, LIU Fengzhu¹

(1. Shandong Linglong Tire Co., Ltd, Zhaoyuan 265400, China; 2. Zhaoyuan 89000 People's Livelihood Service Center, Zhaoyuan 265400, China)

Abstract: The application of circular wire ring $[1 \times 5.5 + (10 + 17 + 23) \times 2.2]$ in 12.00R20 truck and bus tire was studied, and compared with the hexagonal wire ring (7-8-9-10-11-12-11-10-9-8-7). The results showed that the hexagonal wire ring mainly carried the tensile stress and compressive stress by the central wire, the circular wire ring distributed the tensile stress and compressive stress evenly on each wire, the Mises tensile stress of the hexagonal wire ring was larger, the Mises compressive stress of the hexagonal wire ring was smaller, and the circular wire ring was prone to having the problem of loose strand under compression. The circular wire ring supported bending stress symmetrically, and the Mises bending stress of the hexagonal wire ring was larger. When rotated clockwise, the wire of the circular wire ring tended to straighten, and when rotated counterclockwise, the wire of the circular wire ring tended to tighten. The Mises rotating stress of the hexagonal wire ring was greater than that of the circular wire ring. The tire with the circular wire ring had better durability, and the circular wire ring helped to reduce the tire mass and rolling resistance.

Key words: circular wire ring; hexagonal wire ring; truck and bus tire; stress; rolling resistance; durability